

DESTINY+ミッション搭載カメラによる小惑星 Phaethon 表層の観測：機上校正方法に関する検討

○岡本 尚也¹, 石橋 高², 洪 鵬², 吉田 二美², 荒井 朋子², 石丸 貴博¹, 高島 健¹

¹宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ²千葉工業大学惑星探査研究センター

深宇宙探査技術実証機 DESTINY+ (Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary voyage, Phaethon flyby and dust Science)は、理学・工学の連携ミッションであり、2022年にイプシロンロケットにより打ち上げが予定されている。打ち上げ後2年間、探査機はイオンエンジンによる加速を続けスパイラル状に軌道高度を上昇し、月の重力圏に入ると月スイングバイを数回繰り返して太陽を公転する軌道に入る。その後、約2年かけて目標天体の活動小惑星(3200)Phaethonの会合点へと向かう。DESTINY+ではふたご座流星群の母天体とされるこの小惑星を高速フライバイし、搭載されるカメラにより地球飛来ダストの供給源である流星群母天体の実態解明を目指す。

この目的を達成するためにカメラ観測で目標とする項目は以下の5項目である: (1)Phaethonのグローバル形状の観測, (2)Phaethonのセミグローバル形状の観測, (3)Phaethon表層のローカル地形の観測, (4)Phaethonの表層物質分布の観測。DESTINY+探査機には、2種類のカメラが搭載される。1つは(1)-(3)を観測するために高空間分解できるモノクロ望遠カメラTCAP (Telescopic Camera for Phaethon)である。Phaethon最接近より~7.2時間前から数km/pixelで観測し、自転周期、輪郭の観測(1)を行う。Phaethonに接近すると探査機はPhaethonに対し相対速度30-40 km s⁻¹で通過する。この状況下でPhaethonをカメラ視野内に収めるため、TCAPでは光学系の前方に駆動鏡を取り付けこれを回転させて撮像する(第63回宇宙科学技術連合講演会講演集 洪ほか)。Phaethon最接近から~8.7分前より100 m/pixel以下で3次元形状を観測(2)、また最接近時には≤10 m/pixelでの表層地形観測(3)を目指す。もう1つのカメラは可視から近赤外に波長域を持つ(425 nm, 480nm, 550nm, *700 nm, 850 nm, *950nm。*はオプション)マルチバンドカメラMCAP (Multiband Camera for Phaethon)である。紫外域のスペクトル、可視域のスペクトル、近赤外域のスペクトルの傾きを調査するとともに、100 m/pixel以下での画像取得を目指す。それぞれの項目ごとに目標とするS/N比は異なるが、低いものではS/N比 (Signal-to-Noise Ratio)≥20, 高いものではS/N比≥50での撮像が要求される。

これらのカメラで得られる画像データから上記目標となる科学的データを正しく抽出するには両カメラの校正が必要であり、その特性を知っておくことが重要となる。そのため打ち上げ前に地上で両カメラの校正試験を行うことは必須であり、現在は候補となるCMOSイメージセンサのラジオメトリックな性能についての評価に着手している(第63回宇宙科学技術連合講演会講演集 石丸ほか)。一方で、打ち上げ後の振動や宇宙線等によるカメラの性能変化・劣化により地上試験で得た特性がPhaethon到着までの4年の間、一定に保たれている保証はない。そのため探査機打ち上げ後も機上でのカメラ校正を行い、その特性の変化・劣化の程度を評価する必要がある。この評価を行うには安定した光源が必要となる。しかし、両カメラは厳しい質量制約のため現在の設計では内部に校正用の光源をもたない予定

である。よって航行中に観測可能かつ適切に選択された恒星・惑星・月を光源として用いた校正が必要となってくる。我々はこれまでのミッションや地球観測衛星で行われてきた天体を用いたカメラの機上校正方法を参考に、TCAP ならびに MCAP における航行中の校正方法の検討を行っている。

校正は大別すると 2 種類ある。センサの分光特性の測定をラジOMETリック校正といい、画素の配列や形状に関する幾何学的特性の測定をジオメトリック校正という。DESTINY⁺探査機の機上で行うラジOMETリック校正として暗電流、ホットピクセルの調査、バイアス、フラットフィールド、リニアリティー、欠損画素位置の調査、飽和電荷量、放射輝度の絶対値校正(デジタル値から放射輝度への変換)、点像分布関数の測定を検討している。ジオメトリック校正としては歪曲補正、迷光の調査、駆動鏡の性能確認を検討している。特にラジOMETリック校正においてはスパイラル状に軌道を上昇させるフェーズ、月スウィングバイフェーズで月を用いた校正を行うことを試みている。月面の反射率は非常に安定しておりミッションのタイムスケールにおいて安定した光源とみなせるため、月は面光源として非常に有効な天体である。また過去の月観測データを用いて構築された月面輝度モデル(Rolo モデル、SP モデル等)と校正を行いたいカメラの月撮像画像の比較によって画素間の相対感度校正が実施可能である。一方で月面放射輝度の絶対値にはモデルの不定性により 10%程度の誤差があるとされている。そこで DESTINY⁺ミッションでは月撮像を介して校正済みの地球観測衛星との相互校正(クロスキャリブレーション)ができるかどうかについての検討も開始している。これにより精度よく絶対値校正が可能となるかもしれないが、適切な地球観測衛星の選出・協力体制の構築が必要であり実現性を含め今後調査を深めていく予定である。

[その他詳細についてはポスター(PDF ファイル)をご覧ください]